

Translated Abstract and Portions of the Specification

Left column, page 2, middle paragraph

Figure 1 depicts a source of coherent light comprising a semi-conductor laser with junction 1, capable of emitting coherent stimulated light under the influence of an electrical excitation of its junction. Preferably, laser 1 is constituted by a semi-conductor crystal material with a direct electron gap having a degenerate P-type region 2, and a degenerate N-type region 3. A first electrode 5 is attached to P-type region 2 by a bed of solder 6, either electrically neutral or acceptor-type, forming a non-rectifying contact; a second electrode 7 is attached to N-type region 3 by a bed of solder 8, either electrically neutral or donor-type, also forming a non-rectifying contact. The connections 9 and 10 are respectively joined to the electrodes 5 and 7, for example, by soldering. The parallel reflecting surfaces 11 and 12 (Fabry-Pérot surfaces) are arranged in a manner such that a standing electromagnetic wave may be established between them, in a region of junction 13 contiguous with regions 2 and 3 and located between these regions.

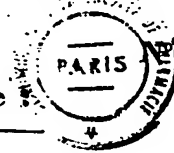
A means permitting the exertion of a mechanical stress on the external surfaces of the crystalline unit of laser 1 comprises a compression lid 14 totally enclosing the laser 1. The lid 14 may be filled with a liquid or a gas 15. The hydrostatic pressure in the lid 14 and the stress exerted at the surface of the semiconductor crystal are regulated by means designed to vary the force 16 acting on a piston 17 which, in turn, comprises the fluid of cylinder 18 communicating with the enclosure of the lid 14. A small window 19 is placed, with respect to laser 1, in such a manner that a distinct portion of the window is located in the plane of the junction. To obtain a better result, the fluid 15 and the window 19 are made up of materials that ensure a good transmission of light at the emission frequencies of laser 1.

Abstract

Improvements made to systems for creating coherent light comprising notably a laser made up of a crystal semiconductor with a P-N junction, whose two perfectly parallel surfaces define, in the junction region, a resonance cavity where an electromagnetic light is created from a plurality of waves of different frequencies corresponding to the modes of oscillation of a standing wave. The improvements are notably characterized by the following points, taken separately or in combination:

1. The system comprises a means for applying a mechanical stress of adjustable intensity to at least a portion of the external surface of the semiconductor, this stress having the effect of varying the frequency at which the laser's emission shows a maximum intensity;
2. The means for applying stress comprises a fluid surrounding the semiconductor crystal, and a system for compressing this fluid;
3. The means for applying stress is mechanically coupled to two opposing surfaces of the semiconductor crystal;
4. The means referred to in 3 above comprises a block of piezoelectric material.

THIS PAGE BLANK (USPTO)



Perfectionnements aux systèmes pour engendrer un rayonnement cohérent.

COMPAGNIE FRANÇAISE THOMSON-HOUSTON résidant en France (Seine).

Demandé le 22 mars 1965, à 15^h 8^m, à Paris.

Délivré par arrêté du 10 janvier 1966.

(Bulletin officiel de la Propriété industrielle, n° 8 de 1966.)

(Demande de brevet déposée aux États-Unis d'Amérique le 24 mars 1964, sous le n° 354.369, au nom de M. Gunther Erwin FENNER.)

La présente invention concerne des perfectionnements aux systèmes pour engendrer un rayonnement cohérent, et se rapporte plus particulièrement aux systèmes de ce type utilisant des dispositifs semi-conducteurs par lesquels on peut sélectionner et maintenir la fréquence du rayonnement cohérent.

Depuis qu'on sait produire un rayonnement lumineux cohérent, ou lumière ayant des propriétés ondulatoires uniformes, on peut se servir de la lumière dans divers domaines qui étaient antérieurement réservés aux fréquences radioléctriques. On a pu ainsi étendre les applications du rayonnement électromagnétique au-delà de tout ce qui était connu auparavant, notamment en raison des longueurs d'onde très courtes du rayonnement cohérent que l'on peut obtenir maintenant. Parmi les moyens permettant d'engendrer un rayonnement stimulé cohérent, on connaît notamment des diodes semiconductrices qui sont souvent dénommées lasers semiconducteurs à jonction.

Le laser semi-conducteur fournit, de façon très efficace avec un matériel simple, un rayonnement stimulé cohérent de lumière, non seulement dans le spectre visible ou infra-rouge, mais aussi dans le domaine des hyperfréquences. Dans beaucoup d'applications des lasers semiconducteurs, on obtient une émission stimulée de rayonnement cohérent sur plusieurs fréquences différentes correspondant à des modes différents d'oscillation. Il serait très souhaitable de trouver un moyen de réglage par lequel l'émission du laser semi-conducteur aurait un maximum d'intensité pour une fréquence correspondant à un mode choisi. En outre, il serait très utile de disposer d'un moyen pour faire varier la fréquence du mode choisi et obtenir, par exemple, une modulation de fréquence du rayonnement cohérent ou un accord de la fréquence d'émission du laser sur la fréquence d'un système pré-existant.

Le but principal de l'invention est de permettre la réalisation d'une source de rayonnement cohérent

comprenant un moyen pour régler la fréquence émise, notamment pour obtenir un maximum d'intensité du rayonnement sur un ou plusieurs modes de fonctionnement, et pour obtenir un réglage de la fréquence d'émission.

Des recherches entreprises par la compagnie demanderesse ont notamment permis d'établir que la courbe d'émission stimulée peut être comparée à la courbe gain/fréquence d'un amplificateur accordé comprenant des tubes à vide. A la suite d'une contrainte mécanique, appliquée au cristal d'un laser semi-conducteur, le décalage en fréquence de la pointe de la courbe d'émission est plus rapide que la variation en fréquence des modes d'oscillation. Ainsi, on peut décaler la fréquence de la pointe de la courbe d'émission stimulée par rapport à la fréquence des modes d'oscillation permis, si la source de rayonnement cohérent est un laser semi-conducteur comprenant un moyen pour appliquer une contrainte mécanique sur son cristal, par exemple si un ou plusieurs traducteurs de force sont attachés au cristal du laser. Dans un mode choisi, on peut augmenter l'intensité de l'émission par le réglage de la contrainte appliquée au cristal de façon à obtenir que la pointe de la courbe d'émission stimulée se situe à la fréquence du mode choisi. En outre, en raison d'un faible décalage de la fréquence des modes se produisant en réponse à une contrainte mécanique, on peut changer ou moduler la fréquence du rayonnement cohérent en faisant varier la contrainte autour de la valeur nécessaire pour que la pointe de la courbe d'émission se situe à peu près à la fréquence du mode d'oscillation choisi.

Pour mieux faire comprendre les caractéristiques techniques de l'invention et ses avantages, on va en décrire des exemples de réalisation, étant bien entendu que ceux-ci n'ont aucun caractère limitatif. La description se référera aux figures annexées qui représentent :

La figure 1, une vue en perspective avec coupes

partielles d'une source de rayonnement typique, conforme à l'invention;

La figure 2, une courbe de l'intensité du rayonnement émis en fonction de la longueur d'onde pour une condition de fonctionnement du dispositif de la figure 1;

La figure 3, une courbe de l'intensité du rayonnement émis en fonction de la longueur d'onde pour une autre condition de fonctionnement du dispositif de la figure 1;

La figure 4, une courbe de la variation de longueur d'onde en fonction de la contrainte, permettant de comparer les performances de trois modes de réalisation de la présente invention;

La figure 5, une autre forme de réalisation d'une source de rayonnement cohérent conforme à la présente invention.

La figure 1 représente une source de rayonnement cohérent comprenant un laser semi-conducteur à jonction 1, capable d'émettre un rayonnement cohérent stimulé sous l'effet d'une excitation électrique de sa jonction. De préférence, le laser 1 est constitué d'un cristal en matériau semi-conducteur à transition directe d'électrons ayant une région dégénérée 2, de type P, et une région dégénérée 3, de type N. Une première électrode 5 est fixée à la région 2, de type P, par une couche de soudure 6, électriquement neutre ou de type accepteur, formant un contact non redressant; une seconde électrode 7 est fixée à la région 3, de type N, par une couche de soudure 8, électriquement neutre ou de type donneur, formant également un contact non redressant. Des connexions 9 et 10 sont respectivement reliées aux électrodes 5 et 7, par exemple par brasage. Des surfaces parallèles réfléchissantes 11 et 12 (faces de Fabry-Pérot) sont disposées de façon à ce qu'une onde électromagnétique stationnaire puisse s'établir entre elles, dans une région de jonction 13 contiguë aux régions 2 et 3 et située entre ces régions.

Un moyen permettant d'exercer une contrainte mécanique sur les surfaces externes de la pièce cristalline du laser 1 comprend une cloche de compression 14 renfermant totalement le laser 1. La cloche 14 peut être emplie d'un liquide ou d'un gaz 15. La pression hydrostatique régnant dans la cloche 14 et la contrainte exercée à la surface du cristal semi-conducteur sont réglées par des moyens destinés à faire varier la force 16 agissant sur un piston 17 qui, à son tour, comprime le fluide du cylindre 18 communiquant avec l'enceinte de la cloche 14. Une petite fenêtre 19, capable de supporter la pression, est adaptée à la cloche 12 pour permettre la sortie du rayonnement émis par le laser 1. De préférence, la fenêtre 19 est placée, par rapport au laser 1, de telle façon qu'une portion dégagée de cette fenêtre se trouve dans le plan de la jonction. Pour obtenir un meilleur rendement,

le fluide 15 et la fenêtre 19 sont constitués par des matériaux assurant une bonne transmission du rayonnement aux fréquences d'émission du laser 1.

L'émission stimulée d'un rayonnement cohérent se produit lorsqu'on polarise le laser 1 dans le sens direct, par exemple en le reliant à une source de courant continu capable de délivrer un courant continu ayant une intensité suffisamment grande pour que l'émission cohérente puisse se produire. Une telle source 20, représentée schématiquement, est reliée au laser 1 par une résistance réglable 21. Les bornes 9 et 10 sont reliées à des conducteurs 22 et 23 respectivement, traversant la cloche 14 par des passages étanches à la pression. On a représenté schématiquement une source de courant pulsé 20, mais il doit être bien entendu que, pour de nombreuses applications, on pourrait très bien utiliser une source de courant permanent.

Il est quelquefois avantageux d'adjoindre un dispositif de régulation de la température qui, selon une disposition pratique, peut avoir la forme d'une cloche additionnelle ayant une fenêtre transparente au rayonnement en regard de la fenêtre 19, et formant avec la cloche 14 ce qui est connu sous le nom de vase Dewar. L'intervalle entre les deux cloches est rempli d'un liquide ou d'un gaz: oxygène, hélium ou azote par exemple; la régulation en température du laser 1 a pour effet de modifier la valeur du courant correspondant au seuil de l'émission stimulée cohérente.

Dans le fonctionnement, on commence par observer que le débit lumineux du laser 1 n'est pas cohérent et augmente à peu près linéairement si on augmente la densité de courant dans la jonction 13 en diminuant la résistance réglable 21. Ensuite, si on continue à réduire la résistance 21, le débit lumineux, vu par la fenêtre 19, augmente de façon non linéaire et devient subitement cohérent. La cohérence est indiquée par des spectres de diffraction perpendiculaires au plan de la jonction, ce qui dénote une relation de phase déterminée entre la lumière émise par les différentes portions latérales de la jonction 13 du laser 1. La densité de courant du seuil d'émission cohérente est la densité de courant pour laquelle le rayonnement cohérent commence. Ensuite, le laser 1 fournit un rayonnement cohérent au-dessus ou en dessous de son seuil.

La contrainte mécanique appliquée au corps cristallin du laser 1 croît lorsqu'on augmente la force 16. Quand on augmente la pression hydrostatique de cette façon, il se produit une augmentation ou une diminution de l'intensité du rayonnement émis par la jonction 13 à une certaine fréquence, et différents modes deviennent successivement dominants. On peut augmenter la pression jusqu'à ce que domine le mode le plus proche de la fréquence désirée, et ensuite on fait varier légèrement la pression afin d'obtenir exactement la fréquence requise

pour une application donnée. On maintient alors la pression à une valeur constante, suffisante pour entretenir le rayonnement cohérent à la fréquence désirée. D'une autre façon, lorsqu'on n'a pas besoin d'obtenir une fréquence précise d'émission, on cherche le maximum d'intensité du mode dominant le plus proche de la gamme de fréquences désirée en faisant varier la pression hydrostatique. Si on le désire, on peut faire varier l'intensité et la fréquence d'émission en faisant varier la pression hydrostatique. Par le fait que la courbe du gain en fonction de la fréquence du laser 1 est normalement plus large que la plage de fréquence des modes particuliers, on peut souvent obtenir un décalage de fréquence sans faire varier le courant d'une façon appréciable. Cette dernière caractéristique est plus marquée avec des dispositifs présentant une courbe gain/fréquence élargie. Inversement, si la séparation des modes est la considération essentielle, il est préférable d'utiliser des dispositifs présentant une courbe gain/fréquence étroite, et on diminue l'espacement des faces de Fabry-Pérot afin d'obtenir une plus grande différence de fréquence entre les modes adjacents.

En général, le laser 1 est constitué d'un matériau monocristallin tel qu'un composé semi-conducteur ou un alliage de composés semi-conducteurs choisis dans les groupes III-V de la table périodique, cette classe des semi-conducteurs à transition directe (dans lesquels se produisent des transitions directes d'électrons entre les bandes de valence et de conduction); elle comprend, entre autres, l'arséniure de gallium, l'antimoniure d'indium, l'arséniure d'indium, le phosphore d'indium, l'antimoniure de gallium et leurs alliages; elle peut en outre comprendre des alliages à transition directe d'autres matériaux, par exemple des alliages d'arséniure de gallium et de phosphore de gallium (indirect par lui-même) dans une proportion comprise entre 0 et 50 atomes pour 100 de phosphore de gallium. D'autres matériaux à transition directe pouvant convenir comprennent le sulfure de plomb, le séléniure de plomb et le tellure de plomb. Pour ces derniers matériaux, l'indium constitue un donneur convenable, et des anions en excès conviennent comme accepteurs. La longueur d'onde du rayonnement émis dépend de la largeur de la bande interdite du semi-conducteur choisi (la différence d'énergie entre la bande de conduction et la bande de valence).

Aussi bien les régions de type N que les régions de type P de la pièce monocristalline du laser 1 sont imprégnées ou dopées par une impureté de type donneur ou accepteur respectivement pour produire une dégénérescence dans ces régions. Dans cette description, on considère qu'un corps est dégénéré de type N quand il contient un excès d'impuretés de type donneur en concentration suffisante pour élever son niveau de Fermi à une valeur plus

élevée que le niveau d'énergie minimal de la bande de conduction du matériau semi-conducteur. Une région ou un corps semi-conducteur de type P est dégénéré quand il convient un excès d'impuretés de type accepteur en quantité suffisante pour abaisser le niveau de Fermi à une valeur plus faible que l'énergie maximale de la bande de valence du matériau semi-conducteur. Aux températures normales de fonctionnement des lasers, la dégénérescence est généralement obtenue quand la concentration dépasse 10^{17} porteurs négatifs en excès par cm^3 , ou quand la concentration dépasse 10^{18} porteurs positifs en excès par cm^3 . Le niveau de Fermi dans un diagramme de bandes d'énergie est l'énergie pour laquelle la probabilité pour qu'un électron occupe un état déterminé est égale à un demi.

Les semi-conducteurs convenant pour le laser de la présente invention peuvent être rendus dégénérés de type N ou P à l'aide de matériaux qui peuvent être différents selon le semi-conducteur utilisé, et peuvent ne pas être les mêmes dans chaque cas. Ainsi, tous les composés des groupes III-V utilisent le soufre, le sélénium et le tellure comme donneurs, et le zinc, le cadmium, le mercure et le césium comme accepteurs. Par ailleurs, l'étain, le germanium et le silicium peuvent être donneurs ou accepteurs, selon le semi-conducteur particulier et le processus. Par exemple, ils sont accepteurs dans l'antimoniure de gallium tiré d'un bain stoéchiométrique. Dans l'antimoniure d'indium, l'étain est un donneur, tandis que le germanium et le silicium sont des accepteurs. L'étain, le germanium et le silicium sont tous donneurs dans les autres semi-conducteurs à transition directe des groupes III-V. On peut utiliser tout donneur et accepteur ayant une solubilité suffisante dans le matériau constituant le cristal semi-conducteur pour former les régions dégénérées du laser 1.

Quoique le laser 1 puisse être fabriqué par de nombreux procédés, l'exemple suivant permettra à l'homme de l'art de reconnaître un procédé particulièrement pratique. Un système tel que celui de la figure 1 comprend un laser constitué à partir d'un lingot monocristallin en GaAs de type N, dopé par environ 10^{18} atomes de tellure par cm^3 . On peut obtenir cette contraction par croissance d'un cristal à partir d'un bain de GaAs contenant au moins $5 \cdot 10^{18}$ atomes de tellure par cm^3 , ce qui donne un cristal dégénéré de type N.

On forme une jonction sur une surface horizontale du cristal par diffusion de zinc dans toutes les surfaces, en portant à environ 900°C pendant environ une demi-heure un tube de quartz scellé et évacué, contenant le cristal de GaAs et 10 mg de zinc. Il se forme une jonction PN se trouvant à environ 50 microns en dessous de toutes les surfaces du cristal. Ensuite, on coupe et on rode la plaquette cristalline pour enlever toutes les régions de type P,

à l'exception d'une région adjacente à une surface horizontale.

Par découpage ou par clivage, on forme alors une pièce monocristalline à partir de la plaquette par exemple une pièce de 0,5 mm d'épaisseur et de 0,4 mm de côté. On rend ensuite deux faces opposées de la pièce exactement parallèles entre elles et perpendiculaires à la jonction PN, et on leur donne un poliquitue.

Ensuite, on soude les électrodes sur la pièce semi-conductrice. Pour l'GaAs, un alliage de soudure en indium à 3 % de zinc est un matériau accepteur, l'étain est un matériau donneur. Lorsque la pièce semi-conductrice décrite ci-dessus est portée à environ 77 °K dans un Dewar à air liquide, le seuil d'émission cohérente se situe à environ 1 000 A/cm², et il descend à moins de 200 A/cm² à 20 °K. Si le laser 1 possède une jonction de 0,1 mm² de surface, il suffit que la source d'impulsions délivre 1 ampère à 77 °K, et 0,2 A à 20 °K.

De préférence, la cloche de compression 14 est en acier inoxydable. Si le laser 1 émet sur les fréquences typiques du GaAs, le fluide 15 peut être un n-pentane ou un gaz inerte, et la fenêtre 19 peut être en saphir ou en quartz.

La figure 2 est une courbe de l'intensité relative en fonction de la fréquence, elle montre le spectre d'émission et la courbe de gain pour un rayonnement cohérent stimulé émis par le laser 1 à température et pression constantes, et pendant un fonctionnement typique de la source de rayonnement cohérent. La courbe en traits pleins 25 donne la forme du spectre de fréquence obtenu par l'émission du laser 1; cette courbe présente plusieurs crêtes 26 et vallées 27 (placées sensiblement sur la courbe de réponse de l'émission spontanée) caractérisant le rayonnement fourni par les lasers semi-conducteurs. La réponse, ou gain, de l'émission stimulée de la jonction semi-conducteur se représente par la courbe 28 ayant une crête 29. Selon la présente invention, le facteur essentiel est la vitesse de variation du gain de l'émission stimulée par rapport à la longueur d'onde, ou à la fréquence, en réponse aux variations de la contrainte exercée sur le cristal. Dans un but de simplification, la longueur d'onde de différents modes de fonctionnement est indiquée par des petits traits 30, sur l'axe des abscisses. Sur la figure 2, la pointe de la courbe de réponse du laser 4 est située à peu près au milieu de deux modes d'oscillation possibles.

Les recherches de la demanderesse ont permis d'établir que la courbe de réponse 28 de l'émission stimulée des lasers semi-conducteurs se déplace vers la droite de la figure 1 lorsque la pression augmente à une vitesse différente de la vitesse correspondante de translation des modes de résonance, ou oscillation. Par exemple, pour des dispositifs en GaAs à 200 °K, et pour une variation

de la pression hydrostatique égale à 1 bar, le déplacement de la crête de la courbe de réponse est de $-7,6 \cdot 10^{-6}$ (micron unité de longueur d'onde). Le décalage correspondant, ou translation, des modes se produit à un rythme bien plus lent de $-2,1 \cdot 10^{-6}$ micron, soit environ trois fois et demi moins vite, ce qui est indiqué en 30. Ainsi, lorsque la pression augmente, la courbe de réponse de l'émission stimulée 28 sur la figure 2 se déplace vers la droite plus rapidement que ne le font les points de résonance 30 fournissant un spectre dont les crêtes 26 apparaissent comme des bouchons régulièrement espacés, ballotés par l'ondulation du fluide sur lequel ils flottent.

La figure 3 représente un spectre de fréquence typique du rayonnement émis par le laser 1 quand la courbe de réponse 28 s'est déplacée jusqu'à ce que la crête 29 de la courbe 28 se situe à la fréquence de l'un des modes 30. L'intensité du rayonnement est très grande sur la fréquence du mode 31, ce qui montre clairement que le mode choisi 31 est dominant. L'influence des autres modes sur l'intensité de l'émission est amoindrie par la fréquence respective de ces modes, car il se produit un grain et une amplification plus faibles de l'émission stimulée sur ces fréquences.

La figure 4 est une courbe de la variation de longueur d'onde en Angströms en fonction de la contrainte en kg/cm². Les courbes 40 et 40' indiquent respectivement la translation de longueur d'onde de la courbe de réponse et des modes, en réponse aux variations de contrainte produite par des forces exercées sur toutes les surfaces du cristal. En d'autres termes, les courbes 40 et 40' montrent l'amplitude du décalage de fréquence obtenu dans un système tel que celui de la figure 1, dans lequel une pression hydrostatique est appliquée sur le laser. Les courbes 41 et 41' montrent respectivement la translation de longueur d'onde de la courbe de réponse et des modes, lorsque le laser est soumis à des contraintes s'exerçant seulement sur deux côtés opposés; les courbes 42 et 42' montrent la courbe de réponse analogue, lorsque la contrainte est exercée seulement sur deux faces opposées. Cette dernière condition est quelquefois désignée par le terme: contrainte uniaxiale de la pièce, ce qui veut dire que toutes les forces appliquées sur la pièce sont essentiellement parallèles.

La figure 4 montre que le décalage de longueur d'onde de la courbe de réponse et des modes est environ trois fois plus sensible aux variations de pression hydrostatique qu'aux variations de pression uniaxiales. L'application d'une pression hydrostatique permet d'obtenir un système conforme à l'invention ayant une grande réponse aux variations de pression; mais il peut être avantageux, dans beaucoup de cas, de recourir à un système utilisant une contrainte uniaxiale car, entre autres, pour beau-

coup d'applications, il est plus facile d'exercer une contrainte uniaxiale sur la pièce cristalline.

La figure 5 représente une source de rayonnement cohérent conforme à la présente invention. Mais cette source utilise une contrainte uniaxiale au lieu d'une pression hydrostatique comme la source représentée à la figure 1. Le laser de la figure 5 est identique à celui de la figure 1, et les mêmes organes sont désignés par les mêmes repères numériques. La seule modification de structure du laser 1 réside dans le fait que la borne 9 d'amenée de courant à la région de type P sur la figure 1 est remplacée par un connecteur plat facilitant l'application d'une contrainte uniaxiale sur le cristal du laser 1, parce qu'il fournit une surface plane alignée avec la face supérieure du laser 1. On peut facilement appliquer une force sur la surface plane du connecteur 50 pour exercer la contrainte uniaxiale désirée. Un bloc rectangulaire 51, en titanate de baryum ou autre matériau piézoélectrique est placé sur le connecteur 50; il est maintenu par une agrafe 52, et il est séparé d'une jambe de cette agrafe par une bande conductrice 53 et par un intermédiaire isolant 54. Le bloc piézoélectrique 51 est alimenté par le connecteur 50 et par la bande 53. Le couplage mécanique entre le bloc 51 et la surface du cristal est assuré par le connecteur 50, l'électrode 5 et la couche de soudure 6.

Le bloc piézoélectrique 51 est alimenté par une source représentée schématiquement par une batterie 55 reliée en série à une résistance réglable 56, dans un circuit comprenant la bande 53, le bloc 51 et l'électrode 50. On peut faire varier la force exercée par le bloc 51 en ajustant la résistance 56 d'une façon bien connue dans l'art. La force appliquée par le bloc piézoélectrique 51 exerce également une contrainte uniaxiale sur le cristal du laser 1.

Comme ce qui arrive pour beaucoup de phénomènes physiques très complexes, on n'a pas pu expliquer parfaitement la nature exacte et le mécanisme de ce qui est réalisé par la pression sur les lasers semi-conducteurs à transition directe décrits ci-dessus. Toutefois, on peut avancer l'explication théorique suivante. Dans un résonateur de Fabry-Pérot ou autre structure utilisant des faces parallèles réfléchissantes comme une sorte de cavité résonnante, les modes d'oscillation sont déterminés aussi bien par l'espacement des faces opposées que par la constante diélectrique du milieu séparant les faces réfléchissantes. Par le fait que la contraction résultant de la contrainte des cristaux semi-conducteurs est généralement faible et pratiquement négligeable, il semble que le décalage de la fréquence des modes en réponse à la contrainte est dû à une variation de la constante diélectrique dans la région de jonction du cristal.

L'amplification, ou gain, obtenue dans la région de jonction du laser semi-conducteur provient d'une

inversion de population dans la jonction consécutive à une injection d'électrons. Le rayonnement stimulé émis est essentiellement une valeur déterminée par la bande interdite du matériau semi-conducteur dans la région de jonction. Une contrainte comprimant le cristal semi-conducteur augmente la largeur de la bande interdite, ce qui augmente l'énergie du rayonnement émis, et il en résulte un rayonnement cohérent ayant une fréquence plus élevée. Toutefois, la vitesse de décalage de la fréquence en fonction des variations de la contrainte reste essentiellement constante.

Dans les matériaux semi-conducteurs à transition directe, on pense que les électrons qui engendrent des photos occupent, dans la bande de conduction, des états ayant un très haut degré de symétrie par rapport aux directions cristallographiques. Pour cette raison, seules des forces affectant le volume du cristal entraînent des variations de la fréquence émise par le laser, et des forces de cisaillement pur n'ont aucune influence. Ceci explique partiellement pourquoi l'effet de la contrainte mécanique est essentiellement proportionnel à la somme des contraintes exercées sur les surfaces externes du cristal.

On a décrit certaines formes préférées de l'invention à titre d'exemples, mais de nombreuses modifications pouvant apparaître aux spécialistes restent dans le domaine de l'invention. Par exemple, on peut avantageusement utiliser plusieurs éléments de contrainte mécanique et électromécanique, et plusieurs moyens pour coupler ces contraintes à des portions ou à toutes les surfaces externes du cristal. En outre, dans de nombreuses applications, on peut, avec le même avantage, utiliser des contraintes d'allongement au lieu d'utiliser des contraintes de compression.

RÉSUMÉ

Perfectionnements apportés aux systèmes pour engendrer un rayonnement cohérent comprenant notamment un laser constitué par cristal semi-conducteur à jonction PN dont deux faces parfaitement parallèles définissent, dans la région de jonction, une cavité résonnante où se crée un rayonnement électromagnétique formé de plusieurs ondes de fréquence différentes correspondant à des modes d'oscillation en onde stationnaire. Les perfectionnements sont notamment caractérisés par les points suivants pris isolément ou en combinaison :

1° Le système comprend un moyen pour appliquer une contrainte mécanique d'intensité réglable sur au moins une portion de la surface externe du semi-conducteur, cette contrainte ayant pour effet de faire varier la fréquence sur laquelle l'émission du laser présente un maximum d'intensité;

2° Le moyen pour appliquer une contrainte com-

[1.428.845]

— 6 —

prend un fluide entourant le cristal semi-conducteur, et un système pour mettre ce fluide en compression;

3° Le moyen pour appliquer une contrainte est

mécaniquement couplé à deux faces opposées du cristal semi-conducteur;

4° Le moyen mentionné en 3° comprend un bloc de matériau piézoélectrique.

COMPAGNIE FRANÇAISE THOMSON-HOUSTON,
boulevard Haussmann, 173. Paris

Pour la vente des fascicules, s'adresser à l'IMPRIMERIE NATIONALE, 27, rue de la Convention, Paris (15°).

